

中图分类号: R932; R284.2; TQ460.6
doi:10.3969/j.issn.1006-4931.2023.13.012

文献标志码: A

文章编号: 1006-4931(2023)13-0050-06



层次分析-熵权法结合星点设计-响应面法优选艾纳香配方颗粒成型工艺

谢谭芳¹, 程哲¹, 覃春捷²

(1. 广西中医药大学·广西高校中药制剂共性技术研发重点实验室, 广西南宁 530200; 2. 广西壮族自治区柳州市工人医院, 广西柳州 545005)

摘要:目的 优选艾纳香配方颗粒的成型工艺。方法 以湿法制粒法制备艾纳香配方颗粒, 在单因素试验基础上结合星点设计-响应面法, 以清膏与稀释剂糊精配比、矫味剂甜菊素用量为考察因素, 以成型率、休止角、吸湿率为评价指标, 采用层次分析(AHP)-熵权法对评价指标赋予权重系数后进行综合评分。结果 AHP-熵权法赋予成型率、休止角、吸湿率的权重系数分别为0.642 0、0.344 5、0.013 45。优选的成型工艺为艾纳香配方颗粒清膏-糊精(1:1.65, m/m), 矫味剂甜菊素0.55%。验证试验结果显示, 按优化工艺制备3批样品的综合评分的平均值为75.03。结论 该成型工艺合理、可行, 可为艾纳香配方颗粒的开发及应用提供实验依据。

关键词: 层次分析-熵权法; 星点设计-响应面法; 艾纳香配方颗粒; 成型工艺

Optimization of Molding Process of Ainaxiang Formula Granules by Analytic Hierarchy Process - Entropy Weight Method Combined with Central Composite Design - Response Surface Methodology

XIE Tanfang¹, CHENG Zhe¹, QIN Chunjie²

(1. Guangxi University of Chinese Medicine · Key Laboratory of Common Technology of Traditional Chinese Medicine Preparation in Universities of Guangxi, Nanning, Guangxi, China 530200; 2. Liuzhou Workers' Hospital, Liuzhou, Guangxi, China 545005)

Abstract: Objective To screen the molding process of Ainaxiang Formula Granules. **Methods** Ainaxiang Formula Granules were prepared by the wet granulation method. On the basis of single factor test and central composite design - response surface methodology (CCD - RSM), the ratio of clear cream to diluent dextrin and the amount of flavoring agent (stevioside) were taken as

第一作者: 谢谭芳, 女, 硕士, 副教授, 研究方向为中药及民族药新制剂与新剂型, (电子信箱)xietanfang111@163.com。

- Kidney Disease and End - Stage Renal Disease in the United States[J]. Am J Kidney Dis, 2012, 59(1 Suppl 1): A7, e1 - e420.
- [3] LEE EJ, KANG MK, KIM DY. Chrysin inhibits advanced glycation end products - induced kidney fibrosis in renal mesangial cells and diabetic kidneys[J]. Nutrients, 2018, 10: 882.
- [4] HAN P, ZHAN H, SHAO M, et al. Niclosamide ethanolamine improves kidney injury in db / db mice[J]. Diabetes Res Clin Pract, 2018, 144: 25 - 33.
- [5] ROBERT C ATKINS, PAUL ZIMMET. World kidney Day 2010: Diabetic kidney Disease - Act Now or Pay Later[J]. American Journal of Kidney Disease, 2010, 55(2): 205 - 208.
- [6] 刘长山, 李 萍. 黄芩苷对糖尿病患者红细胞醛糖还原酶活性及早期糖尿病肾病的影响[J]. 中国老年学杂志, 2001, 21(5): 334 - 335.
- [7] COOPER ME. Pathogenesis, prevention, and treatment of diabetic nephropathy[J]. Lancet, 1998, 352(9123): 213 - 219.
- [8] BROSIUS FC, KHOURY CC, BULLER CL, et al. Abnormalities in signaling pathways in diabetic nephropathy [J]. Expert Review of Endocrinology & Metabolism, 2010, 5(1): 51 - 64.
- [9] LU Q, JI XJ, ZHOU YX, et al. Quercetin inhibits the mTORC1 / p70S6K signaling - mediated renal tubular epithelial - mesenchymal transition and renal fibrosis in diabetic nephropathy[J]. Pharmacological Research, 2015, 99: 237 - 247.
- [10] 刘佳琦. 氧化应激与自噬在糖尿病血管并发症中的相互作用[J]. 解剖科学进展, 2016, 22(4): 436 - 438.
- [11] LIU Y. New insights into epithelial - mesenchymal transition in kidney fibrosis [J]. Journal of the American Society of Nephrology: JASN, 2010, 21(2): 212 - 222.
- [12] 辛文好, 宋俊科, 何国荣, 等. 黄芩素和黄芩苷的药理作用及机制研究进展[J]. 中国新药杂志, 2013, 22(6): 647 - 653.
- [13] CHEN S, LEE JS, CRUZ IDL, et al. Angiotensin II stimulates alpha3(IV) collagen production in mouse podocytes via TGF - beta and VEGF signalling: implications for diabetic glomerulopathy[J]. Nephrol Dial Transplant, 2005, 20(7): 1320 - 1328.
- [14] LEE, CH, INOKI K, AND KL. Guan, mTOR pathway as a target in tissue hypertrophy [J]. Annu Rev Pharmacol Toxicol, 2007, 47: 443 - 467.
- [15] LLOBERAS N, CRUZADO JM, FRANQUESA M, et al. Mammalian target of rapamycin pathway blockade slows progression of diabetic kidney disease in rats[J]. J Am Soc Nephrol, 2006, 17(5): 1395 - 1404.

(收稿日期: 2022 - 10 - 22; 修回日期: 2023 - 02 - 17)

the inspection factors, and the molding rate, angle of repose, and moisture absorption rate were taken as evaluation indexes, the evaluation indexes were assigned by weight coefficients and scored comprehensively by analytic hierarchy process (AHP) – entropy weight method. **Results** The weight coefficients of molding rate, angle of repose and moisture absorption rate assigned by AHP – entropy weight method were 0.642 0, 0.344 5, and 0.013 45, respectively. The optimal molding process was Ainaxiang Formula Granules extract – dextrin (1:1.65, m/m), and the flavoring agent (0.55% stevioside). The validation test result showed that the average comprehensive score of the prepared three batches of samples according to the optimal process was 75.03. **Conclusion** The molding process is reasonable and feasible, which can provide an experimental basis for the development and application of Ainaxiang Formula Granules.

Key words: analytic hierarchy process – entropy weight method; central composite design – response surface methodology; Ainaxiang Formula Granules; molding process

艾纳香 *Blumea balsamifera* DC. 是菊科艾纳香属多年生草本植物, 别名大风艾、冰片艾、家风艾等, 主产于贵州、广西、云南等地, 在黎族、壮族、苗族等聚居地有悠久的用药历史, 临床主要以汤剂形式用于治疗风寒感冒、产后风痛、跌打损伤、疮疖痈肿、湿疹皮炎等疾病^[1-2]。对评价指标赋予权重系数的方法有层次分析(AHP)法^[3]、熵权法^[4]、AHP – 熵权法^[5]等。AHP – 熵权法可对专家经验法的指标权重进行量化, 根据指标间的重要性构建指标间的判断矩阵, 根据公式计算得到各个指标的权重系数^[6], 可依据各指标原始数据所提供信息量对各指标进行权重赋值^[7]。本课题组前期对艾纳香配方颗粒的提取工艺进行了研究, 采用干法制粒法制备艾纳香配方颗粒^[8], 但干法制粒所用设备成本高, 且目前药品生产企业多采用湿法制粒。本研究中拟采用湿法制粒法制备艾纳香配方颗粒, 在单因素试验基础上结合星点设计 – 响应面法, 利用AHP – 熵权法对评价指标赋予权重系数后进行综合评分, 筛选艾纳香配方颗粒的成型工艺, 为其开发及应用提供参考。现报道如下。

1 仪器与试药

1.1 仪器

DRT – TW 型调温电热套(郑州长城料工贸有限公司); JM. A6002 型电子天平(诸暨市超泽衡器设备有限公司, 精度为百分之一); DGG – 9426A 型电热恒温鼓风干燥箱(上海齐欣科学仪器有限公司); 10 000 mL 球形开口反应器(上海垒固仪器有限公司); DFY – 1000 型 1 000 g 摇摆式高速万能粉碎机(温岭市林大机械有限公司); SQP 型电子分析天平(赛多利斯科学仪器 < 北京 > 有限公司, 精度为万分之一); UPH – IV – 20TN 型优普系列超纯水器(四川优普超纯科技有限公司)。

1.2 试药

艾纳香药材(批号分别为 20170701, 20180301, 20180309, 分别购自广西南宁、广西金秀、广西田东, 均为干燥的地上部分, 均经广西中医药大学中药鉴定教研室田慧教授鉴定为正品; 微晶纤维素(上海麦克林生

化科技股份有限公司, 批号为 C12668322); 无水乳糖(上海阿拉丁科技股份有限公司, 批号为 D2101115); 甘露醇(广西鼎曦泰科技有限公司, 批号为 F821D); 糊精(批号为 170901), 可溶性淀粉(批号为 200107), 均购自汉中秦发糊精有限责任公司; 甜菊素(曲阜圣仁制药有限公司, 批号为 20171002); 水为纯化水。

2 方法与结果

2.1 艾纳香配方颗粒制备

艾纳香配方颗粒清膏^[8]: 称取艾纳香药材粗粉适量, 置球形开口反应器中, 加 12 倍纯化水, 加热回流提取 3 次, 每次 30 min, 滤过, 合并滤液, 浓缩至相对密度为 1.1 的配方颗粒清膏, 备用。

艾纳香配方颗粒: 称取清膏适量, 加入一定比例的稀释剂、甜味剂, 混匀, 制软材, 过 16 目筛制粒, 60 ℃ 干燥, 整粒, 即得。

2.2 成型工艺单因素考察

2.2.1 评价指标

制粒难易程度: 记录样品制备软材制粒的难易程度。

成型率^[9]: 参考 2020 年版《中国药典(四部)》对颗粒剂粒度的要求。将制得颗粒分别过 1 号筛和 5 号筛, 收集能通过 1 号筛但不能通过 5 号筛的颗粒, 称定质量。根据公式计算成型率, 成型率(%) = 能通过 1 号筛但不能通过 5 号筛的颗粒质量 / 颗粒总质量 × 100%。

休止角^[10]: 采用固定漏斗法测定, 将 3 只漏斗串联, 并固定在水平放置的坐标纸上 1 cm 高度(H)处, 将颗粒沿漏斗壁倒入, 直到坐标纸上形成的颗粒圆锥体尖端接触到漏斗口为止, 由坐标纸测出圆锥底部的直径($2R$), 重复 3 次, 计算平均半径(R)。根据公式计算休止角, $\tan\alpha = H/R$ 。

溶化性^[9]: 参考 2020 年版《中国药典(四部)》, 取样品 5 g, 加热水 200 mL, 持续搅拌 5 min, 观察颗粒溶化程度。

2.2.2 稀释剂种类及用量考察

颗粒剂的稀释剂一般选用无水乳糖、可溶性淀粉、

糊精、甘露醇等,在前期对各稀释剂的预试验结果基础上,对不同种类稀释剂的不同比例进行单因素试验。结果表明,选择糊精作为稀释剂所制得的软材黏性适中,易过 16 目筛,且成型率、休止角、溶化性等均较好,故选择糊精作为艾纳香配方颗粒的稀释剂。详见表 1。

表 1 稀释剂单因素考察结果

Tab. 1 Investigation results of the single factor test of the diluent

稀释剂	比例(m/m)	制粒难易程度	成型率(%)	休止角(°)	溶化性
无水乳糖	1:1.5	难过 16 目筛			
	1:1.8	易过 16 目筛,少许黏网	94.23	16.09	少许未溶
	1:2.0	易过 16 目筛,少许黏网	97.06	16.71	少许未溶
	1:2.5	易过 16 目筛,不黏网	91.60	16.32	少许未溶
	1:3.0	易过 16 目筛,不黏网	79.13	16.63	全溶
可溶性淀粉	1:1.5	易过 16 目筛,少许黏网	99.78	19.34	少量絮状物
	1:2.0	易过 16 目筛,不黏网	97.23	19.66	少量絮状物
	1:2.5	易过 16 目筛,不黏网	84.04	17.10	全溶
	1:3.0	易过 16 目筛,不黏网	79.39	17.10	全溶
	1:3.5	易过 16 目筛,不黏网	74.87	16.09	全溶
糊精	1:1.5	易过 16 目筛,少许黏网	98.70	20.82	少许未溶
	1:2.0	易过 16 目筛,不黏网	96.19	19.98	少许未溶
	1:2.5	易过 16 目筛,不黏网	95.66	19.98	全溶
	1:3.0	易过 16 目筛,不黏网	92.59	18.63	全溶
	1:3.5	易过 16 目筛,不黏网	88.94	18.43	全溶
甘露醇	1:2.0	易过 16 目筛,少许黏网	99.05	16.63	少许未溶
	1:2.5	易过 16 目筛,不黏网	98.96	16.86	少许未溶
	1:3.0	易过 16 目筛,不黏网	98.00	17.10	少许未溶
	1:3.5	易过 16 目筛,不黏网	95.71	19.46	少许未溶
	1:4.0	易过 16 目筛,不黏网	95.47	19.98	少许未溶

2.2.3 矫味剂甜菊素用量考察

根据 2.2.2 项下筛选出的艾纳香配方颗粒清膏-糊精(1:2, m/m),以 0.1%, 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% 的质量比分别加入甜菊素制备成艾纳香配方颗粒,记录成型率、休止角、溶化性、甜度,其中甜度以 +, +, +, +, +, + 表示。结果表明,艾纳香配方颗粒的成型率和休止角随甜菊素用量的增大而减小;甜菊素用量越大,艾纳香配方颗粒的甜度越大。详见表 2。

表 2 矫味剂甜菊素用量单因素考察结果

Tab. 2 Investigation results of the single factor test of the dosage of flavoring agent stevioside

甜菊素用量	制粒难易程度	成型率(%)	休止角(°)	溶化性	甜度
0.1%	易过 16 目筛,不黏网	98.41	17.25	少许未溶	+
0.5%	易过 16 目筛,不黏网	98.30	16.64	少许未溶	+
1.0%	易过 16 目筛,不黏网	98.04	16.62	少许未溶	++
1.5%	易过 16 目筛,不黏网	96.01	16.53	少许未溶	+++
2.0%	易过 16 目筛,不黏网	90.00	16.04	少许未溶	++++

2.3 星点设计-响应面法优化成型工艺

2.3.1 评价指标

成型率:同 2.2.1 项下测定方法。

休止角:同 2.2.1 项下测定方法。

吸湿率^[11]:取样品 2 g,精密称定质量(M_1),置已恒质量的蒸发皿(M_2)中,放入经饱和氯化钠溶液饱和的干燥器中,24 h 后精密称定质量(M_3)。按公式计算颗粒吸湿率,吸湿率(%) = $(M_3 - M_2) / M_1 \times 100\%$ 。

2.3.2 评价指标权重系数赋予方法

1) AHP 法

根据颗粒剂的性质,艾纳香配方颗粒成型工艺评价指标重要性从大至小依次为成型率>休止角>吸湿率。评价指标间进行两两比较,构建的 AHP 判断矩阵见表 3。其中,“1”表示 2 个指标具有同等的重要性;“3”表示 1 个指标比另 1 个指标稍微重要;“2”表示 2 个相邻程度的中间值。评价指标两两相反比较用相应值的倒数表示。根据公式(1)计算初始权重系数(w_i'),成型率、休止角、吸湿率的 w_i' 分别为 2.080 1, 0.873 6, 0.405 5;根据公式(2)计算归一化权重系数(w_i),即得成型率、休止角、吸湿率的 w_i 分别为 0.593 6, 0.249 3, 0.157 1;根据公式(3)、公式(4)计算一致性指标(CI),查找相应的平均随机一致性指标(RI),再根据公式(5)计算得随机一致性比率(CR)为 0.046 23 < 0.1,表明判断矩阵合理^[12]。

表 3 评价指标两两比较的判断矩阵

Tab. 3 Judgment matrix of pairwise comparison of evaluation indexes

评价指标	成型率	休止角	吸湿率
成型率	1	3	3
休止角	1/3	1	2
吸湿率	1/3	1/2	1

$$W_i' = \sqrt[m]{b_1 b_2 b_3 \cdots b_m} \quad (1)$$

$$W_i = W_i' / \sum_{i=1}^m W_i' \quad (2)$$

$$CI = (\lambda_{\max} - m) / (m - 1) \quad (3)$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left(\sum_{j=1}^m b_{ij} w_{ij} / W_i \right) \quad (4)$$

$$CR = CI / RI \quad (5)$$

2) 熵权法

首先,需对评价指标的原始数据进行归一化处理,再将休止角、吸湿率按公式(6)处理,成型率按公式(7)处理,归一化的数值按公式(8)进行概率处理,最后按公式(9)计算得成型率、休止角、吸湿率的权重系数分别为 0.424 3, 0.542 1, 0.033 58。详见表 4。

$$d_i = (y_{\max} - y_i) / (y_{\max} - y_{\min}), i = 1, 2, \cdots, n \quad (6)$$

$$d_i = (y_i - y_{\min}) / (y_{\max} - y_{\min}), i = 1, 2, \cdots, n \quad (7)$$

$$P_i = \frac{-\sum_{j=1}^m d_{ij} \ln d_{ij}}{\ln n} \quad d_{ij} = 0 \text{ 时, } d_{ij} \ln d_{ij} = 0 \quad (8)$$

$$W_i = \frac{1 - P_i}{\sum_{i=1}^n 1 - P_i} \quad (9)$$

表 4 评价指标归一化数据处理结果

Tab. 4 Results of normalization data of evaluation indexes data							
试验号	归一化数据			试验号	归一化数据		
	成型率	休止角	吸湿率		成型率	休止角	吸湿率
1	0.73	0.90	0.64	8	0.89	0.75	0.96
2	0.64	1.00	0.12	9	0.00	1.00	0.57
3	0.95	0.29	0.00	10	0.41	0.86	0.52
4	0.62	0.93	0.72	11	0.87	0.00	0.96
5	0.96	0.34	0.08	12	0.85	0.62	0.83
6	0.55	0.64	0.37	13	0.35	0.88	1.00
7	1.00	0.22	0.16				

3)AHP – 熵权法

根据公式(10)计算得成型率、休止角、吸湿率的权重系数分别为 0.642 0, 0.344 5, 0.013 45。综合评分(Y) = 成型率归一化数据 × 成型率的 AHP – 熵权法权重系数 × 100 + 休止角归一化数据 × 休止角的 AHP – 熵权法权重系数 × 100 + 吸湿率归一化数据 × 吸湿率的 AHP – 熵权法权重系数 × 100。

$$W_{\text{AHP-熵权法}ij} = w_{\text{AHP}ij}w_{\text{熵权}ij} / \sum w_{\text{AHP}ij}w_{\text{熵权}ij} \quad (10)$$

4)权重系数赋予方法比较

分别计算 3 种权重系数赋予方法的综合评分,结果见表 5。采用 SPSS 26.0 统计学软件对结果及 3 种权重系数赋予方法的权重系数进行相关系数(r)分析,结果见表 6。可见,AHP – 熵权法实现了主观与客观的结合,故采用 AHP – 熵权法赋予评价指标权重系数。

表 5 不同权重系数赋予方法的综合评分

Tab. 5 Comprehensive scores of different weight coefficient methods			
试验号	AHP 法	熵权法	AHP – 熵权法
1	75.79	81.80	78.62
2	65.04	81.93	75.94
3	63.34	55.71	70.65
4	71.52	79.22	72.93
5	66.80	59.52	73.54
6	54.34	59.33	57.79
7	67.51	55.15	72.16
8	86.90	81.82	84.46
9	33.93	56.11	35.21
10	54.15	65.89	56.83
11	66.96	40.18	57.21
12	79.02	72.44	76.99
13	58.52	65.98	54.05

表 6 AHP 法、熵权法与 AHP – 熵权法综合评分及权重系数间的相关性分析

Tab. 6 Correlation analysis between comprehensive scores and weight coefficients by AHP method, entropy weight method, and AHP – entropy weight method				
方法比较	综合评分		权重系数	
	r	P	r	P
AHP 法与 AHP – 熵权法	0.917	< 0.01	0.938	> 0.05
熵权法与 AHP – 熵权法	0.601	< 0.05	0.754	> 0.05

2.3.3 星点设计 – 响应面试验优化成型工艺

1)因素与水平

在单因素试验基础上,选择清膏与稀释剂糊精配比(A)和矫味剂甜菊素用量(B)作为考察因素,采用二因素三水平进行试验,优选出最佳制备工艺。因素与水平见表 7。

表 7 星点设计 – 响应面试验因素与水平

Tab. 7 Factors and levels of the CCD – RSM		
水平	因素 A	因素 B(%)
– 1	1:1.5	0.1
0	1:2.0	0.5
1	1:2.5	1.0

2)试验设计与结果

试验设计与结果见表 8。运用 Design – Expert 8 软件对试验结果进行二项式拟合,得二项式拟合方程 $Y = 73.82 + 10.70A - 4.11B - 0.025AB - 9.27A^2 - 2.42B^2$, $r = 0.868 4$ 。

表 8 星点设计 – 响应面试验设计与结果

Tab. 8 Design and results of the CCD – RSM						
序号	因素 A	因素 B(%)	成型率(%)	休止角(°)	吸湿率(%)	综合评分
1	1:1.9	0.55	95.98	16.07	5.01	78.62
2	1:1.9	0.55	95.09	15.94	8.66	75.94
3	1:1.5	1.00	98.26	16.86	9.51	70.65
4	1:1.9	0.55	94.86	16.03	4.43	72.93
5	1:1.5	0.01	98.41	16.79	8.95	73.54
6	1:1.9	1.20	94.08	16.40	6.92	57.79
7	1:1.4	0.55	98.82	16.94	8.38	72.16
8	1:1.9	0.55	97.69	16.26	2.75	84.46
9	1:2.9	0.55	88.35	15.94	5.50	35.21
10	1:2.5	0.10	92.67	16.12	5.86	56.83
11	1:1.9	0.55	97.47	17.23	2.72	57.21
12	1:1.9	0	97.24	16.43	3.66	76.99
13	1:2.5	1.00	91.98	16.09	2.43	54.05

3)方差分析

方差分析结果见表 9。可见,模型 $F = 4.29$, $P = 0.010 8 < 0.05$,表明所建立的模型良好;失拟项 $F = 0.39$, $P = 0.076 63 > 0.05$,表明试验中未知因素的干

扰小。故此模型成立并可用于预测和分析^[13]。因素 A 对结果的影响大于因素 B,且因素 A 和因素 A²对结果影响均显著($P < 0.05$)。

表 9 方差分析结果

Tab. 9 Results of the analysis of variance					
方差来源	离差平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	1 659.02	5	331.80	4.29	0.010 8
A	916.47	1	916.47	11.85	0.010 8
B	134.91	1	134.91	1.74	0.228 1
AB	2.500×10^{-3}	1	2.500×10^{-3}	3.323×10^{-5}	0.995 6
A ²	597.31	1	597.31	7.73	0.027 3
B ²	40.61	1	40.61	0.53	0.492 1
残差	541.25	7	77.32		
失拟项	122.94	3	40.98	0.39	0.076 63
纯误差	418.31	4	104.58		
总差	2 200.27	12			

4) 响应面分析

在响应面图中,曲面越陡峭,因素间的交互作用越明显^[14]。由因素 A 与因素 B 交互作用的三维响应面图和二维等高线图(图 1)可知,曲面具有一定陡峭度,等高线呈椭圆但不密集。由方差分析结果可知,因素 A 与因素 B 的交互作用不具有显著性($P > 0.05$)。故最终选择

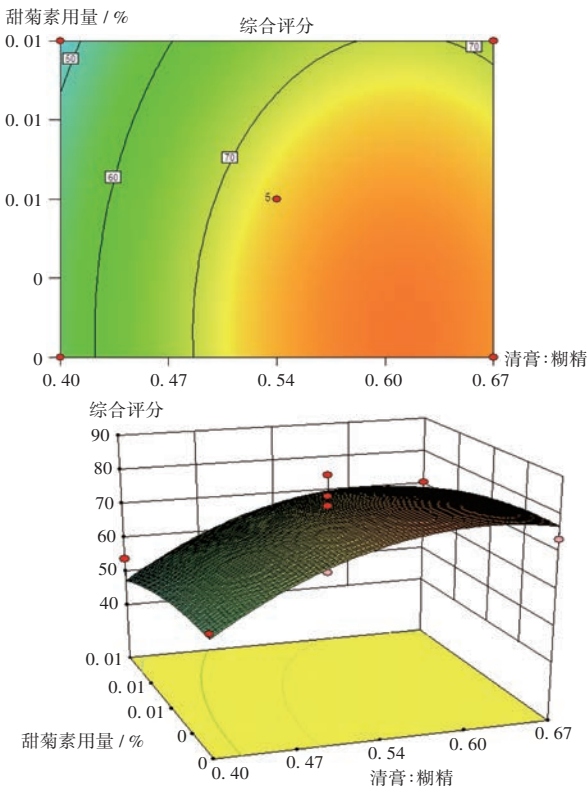


图 1 艾纳香配方颗粒星点设计-响应面法优化成型工艺影响因素交互作用的二维等高线图及三维响应面图

Fig. 1 Two-dimensional contour map and three-dimensional response surface map of Ainaxiang Formula Granules by the CCD-RSM

清膏-糊精(1:1.65, m/m),甜菊素用量 0.55% 为艾纳香配方颗粒的最佳成型工艺,预测其综合评分为 78.79。

2.3.4 验证试验

按 2.3.3 项下星点设计-响应面法优选出的最佳成型工艺平行制备 3 批样品,考察制备样品的成型率、休止角、吸湿率,结果综合评分的平均值为 75.03($n = 3$),实际值和预测值的偏差为 4.78%。详见表 10。

表 10 验证试验结果

Tab. 10 Results of the validation test				
试验号	成型率(%)	休止角(°)	吸湿率(%)	综合评分
1	98.75	16.87	9.10	76.99
2	98.46	16.67	9.30	73.46
3	98.31	16.77	9.02	74.63

3 讨论

星点设计-响应面法是一种在多因素系统中寻找最佳条件的数学统计方法,可评估影响因子及其交互作用,并确定最佳水平^[15]。在配方颗粒的成型工艺优化过程中,对多指标赋权并使其兼顾主观解释性与客观准确性,这对结果准确性和合理性具有重要作用^[16]。确定权重的方法通过对各指标重要性进行比较大致分为主观赋权法与客观赋权法,两者结合更客观与合理^[17]。本研究中选择 AHP-熵权法赋予权重系数,为使艾纳香配方颗粒成型工艺的优化中权重系数的确定更合理,在 AHP 权重系数确定过程中,其评价指标重要性顺序咨询多个专家后确定。经过星点设计-响应面法优化得到艾纳香配方颗粒成型工艺,由表 9 可知,建立的模型良好,清膏与糊精配比对结果的影响大,该成型工艺合理、可行,表明该权重方法适用于此成型工艺的优化,可为艾纳香配方颗粒的生产、研究及其他权重系数模型的选择提供参考。

参考文献

[1] 周立强,熊 燕,陈俊磊,等. 艾纳香地上部分化学成分及其抗氧化与酪氨酸酶抑制活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2021,33(7):1112-1120.

[2] 南京中医药大学. 中药大辞典(第 2 版)[M]. 上海:上海科学技术出版社,2006:804.

[3] 罗 婷,唐 玉,王佳琪,等. 层次分析法结合正交试验优化川黄柏炒炭工艺[J]. 成都中医药大学学报,2018,41(4): 6-11.

[4] 雷欣荷,陈 昕,孟 江,等. 熵权法结合星点设计-响应面法优化橘核的盐炙工艺[J]. 中国药房,2022,33(2):165-171.

[5] 黄昱曦,陈艳琰,乐世俊,等. 基于层次分析-熵权法的气血和胶囊质量标志物研究[J]. 中国中药杂志,2021,46(11): 2710-2717.

[6] 谢谭芳,何结思,程 哲,等. 滇桂艾纳香配方颗粒喷雾干燥工艺的优化[J]. 中成药,2022,44(5):1575-1579.

[7] 邹 龙,张依人,张可人,等. 补阳还五汤水提工艺的优化[J].